

УДК 622.276:504

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРИВУ ПЛАСТА

А.І. Стойко¹, І.О. Карпенко², П. Кузмірчук³

¹Науково-дослідний і проектний інститут ПАТ „Укрнафта”;
76019, м. Івано-Франківськ, Північний бульвар ім. О.Пушкіна, 2, тел. (0342) 726149

²ТОВ „Петроплай Рісерч і Консалтинг”; 02014, м. Київ, вул. Тверський Тупик 9, кв. 33,
тел. +38 (093) 6010857

³Department of Mathematics, Aberystwyth University;
Physical Sciences Building, Aberystwyth, Ceredigion, SY23 3BZ, тел. 01970 622 802

Описано особливості використання водних ресурсів під час проведення гідравлічного розриву пласта. Виконано комп'ютерне моделювання процесу ГРП в різних типах покладів вуглеводнів з використанням різних типів рідин гідророзриву. Проведено аналіз основних чинників залежності обсягу водовикористання та наведено методи його зменшення.

Ключові слова: гідравлічний розрив пласта, водні ресурси, рідина гідророзриву.

Описаны особенности использования водных ресурсов при проведении гидравлического разрыва пласта. Выполнено математическое моделирование процесса ГРП в различных типах залежей углеводородов с использованием различных типов жидкостей гидроразрыва. Проведен анализ основных факторов зависимости объема водопользования и приведены методы его уменьшения.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, водные ресурсы, жидкость гидроразрыва.

The article describes the peculiarities of utilization of water resources during hydraulic fracturing. Mathematical modeling of the hydraulic fracturing process in different types of hydrocarbon deposits and utilization of various types of hydraulic fluids were carried out. The main factors of dependence of the water utilization volume were characterized and some methods to decrease it were provided.

Key words: hydraulic fracturing, water resources, hydraulic fracturing fluid.

Вступ

Протягом останніх двох десятиліть інтенсивне вдосконалення технології гідравлічного розриву пласта (ГРП) та значне покращення результатів призвело до суттєвого збільшення його застосування. Технологія ГРП передбачає використання значного обсягу водних ресурсів, особливо для реалізації багатостадійних гідророзривів в горизонтальних свердловинах, що пов'язано, в основному, з приготуванням технологічних рідин.

Обсяги нещодавно оцінених прогнозних ресурсів важковидобувних вуглеводнів на території України дають привід очікувати в найближчі десятиліття активне освоєння та видобуток цих ресурсів. Враховуючи практичний досвід освоєння та видобутку вуглеводнів в межах численних Північно-Американських нафтогазоносних басейнів, необхідно заздалегідь готувати алгоритм дій всього циклу: від геологорозвідувальних робіт до видобутку вуглеводнів в межах Українських нафтогазоносних регіонів.

Аналіз еволюції технологій, методів та менеджменту індустрії видобутку нетрадиційних вуглеводнів в США, аналіз помилок та складнощів, з якими зіткнулись численні видобувні та сервісні компанії протягом останніх десятиліть, дають нам безцінну можливість робити висновки та заздалегідь корегувати алгоритм освоєння та видобутку власних ресурсів.

Аналогічну тенденцію слід очікувати і в майбутньому. Варто зауважити, що протягом останнього десятиліття в США були періоди, впродовж яких обсяги виконаних ГРП (півріччя, рік) зростали з геометричною прогресією в порівнянні з попереднім періодом.

Ціль статті

При інтенсивному збільшенні застосування ГРП актуальним є питання скорочення використання водних ресурсів. Для цього проаналізовано чинники, що впливають на водовикористання при проведенні ГРП та відповідні методи його скорочення.

Операції ГРП в Харківській області виконуються несистематично і на різних, віддалених одне від одного, родовищах. Середньорічна кількість операцій ГРП в межах Харківської області не перевищує 10, а в межах Східного нафтогазоносного регіону України – не більше 35 операцій в рік. Середня витрата рідини при виконанні одностадійного ГРП становить 91 м³ з середнім значенням коефіцієнту інфільтрації 0,74 (leak-off coefficient). Точно визначити частку рідини, що повертається з продуктивного горизонту після проведення ГРП, разом з видобувними флюїдами (газом, нафтою, пластовою водою), практично неможливо при періодичних гідророзривах. Водовикористання на потреби ГРП в Харківській області є незначним порівняно з середнім водовикористанням на території

Таблиця 1 – Вхідні дані для моделювання процесу ГРП

Вхідні параметри	Традиційний колектор (пісковик)	Щільний колектор (пісковик)	Сланцевий колектор
Коефіцієнт проникності, мД	0,98	0,025	0,0001
Пористість, %	7,3	6,4	1,53
Глибина покладу, м	3200	3400	4400
Тиск нагнітання рідини ГРП, МПа	55	58	65
Пластовий тиск, МПа	32	34	48
Стисливість покладу, Па ⁻¹	$3,942 \cdot 10^{-4}$	$3,942 \cdot 10^{-4}$	$4,401 \cdot 10^{-4}$
Густина рідини ГРП без пропанту, кг/м ³	1050	1050	1050
Тривалість ГРП, секунд	3600	17000	17000
Товщина покладу, м	8	40	40
Модуль Юнга, МПа	5,87	5,710	3,30
Коефіцієнт Пуассона	0,295	0,26	0,36
Об'єм рідини для ГРП, м ³	120	567	567

США за період 2000 – 2010 років, що становить 310 м³. Дослідження даної проблеми в Україні раніше не проводилось.

Успішність інтенсифікації нафтогазовидобування методом гідророзриву пластів значною мірою залежить від властивостей рідин ГРП, тому особлива увага приділяється їх типам, функціональності, властивостям і відповідному складу. Властивості такої рідини відіграють ключову роль у розвитку тріщини та ефективності проведення процесу.

Моделювання використання води під час проведення ГРП

Одним з найважливіших параметрів рідини гідророзриву є в'язкість, оптимальність якої сприятиме найефективнішому використанню об'ємів витраченої води. Для визначення можливих об'ємів рідин і порівняння їх властивостей для умов різних типів порід і в'язкостей рідин гідророзриву нами використано моделювання процесу ГРП, алгоритм якого розроблено науковою групою Аберістутського університету (Уельс, Великобританія) [1].

Вхідні параметри з реальних свердловин для моделювання наведено в таблиці 1. Дані відтворюють геологічні умови залягання, механічні та петрофізичні характеристики покладів вуглеводнів трьох типів: сланцевий колектор, щільний колектор та звичайний традиційний колектор-пісковик. Інформацію для традиційного та щільного колекторів взято з двох свердловин, що знаходяться в Харківській області, а характеристики сланцевого колектора – зі свердловини, що знаходиться в Полтавській області. Для виконання моделювання розкриття, розвитку і закріплення тріщини в традиційному колекторі-пісковіку об'єм рідин взято з реальних статистичних даних 120 м³, а в щільних і сланцевих колекторах змодельовано ГРП з об'ємом рідини 567 м³.

Моделювання ГРП проводили за моделлю розвитку тріщини PKN [2, 3]. В процесі нагні-

тання рідини в пласт розглядається об'єм утвореної системи тріщин, як однієї тріщини, що просувається в обидві сторони від свердловини з однаковою швидкістю і з однаковими геометричними характеристиками (висота тріщини по всій довжині відповідає висоті пласта-колектора). Моделювання не передбачає впливу латеральної неоднорідності порід-колекторів на розвиток тріщини в їх просторі. При моделюванні зміну в'язкості рідини ГРП при змішуванні з піском ігнорували. Нагнітання рідини в пласт виконували при постійному тиску. Описи моделі PKN викладено в багатьох опублікованих наукових роботах британської наукової групи, яка виконувала моделювання [4].

Для моделювання ГРП в кожному з трьох типів покладів нами було використано 8 типів рідини ГРП (на рис. 1 відповідають криві 1-8), які відрізнялись своєю в'язкістю відповідно: 1, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400 мПас, при цьому для кожного типу колектора окремо визначались коефіцієнти інфільтрації рідини ГРП в пласт (leak off coefficient) відповідно до фільтраційно-емісійних властивостей.

Відповідно до отриманих результатів моделювання можна стверджувати про необхідність використання високов'язких рідин для ГРП у традиційних покладах, адже більша частина малов'язкої рідини інфільтрується в пористий простір, що негативно позначається на ефективності ГРП. В покладах щільних пісковиків немає необхідності використовувати рідини з в'язкістю більше 100 мПас, адже при більших значеннях в'язкості довжина тріщини збільшується несуттєво. При підготовці рідини для проведення ГРП в сланцевих пластах достатньо в'язкості 10 мПас, адже навіть низьков'язкі рідини запобігають інфільтрації рідини в пласт. Низькі значення проникності сланцевих колекторів допускають використання низьков'язких рідин. Низька в'язкість дає змогу нагнітати рідину в свердловину на 30 – 40 % інтенсивніше, що, в свою чергу, позитивно позначається на ефективності ГРП.

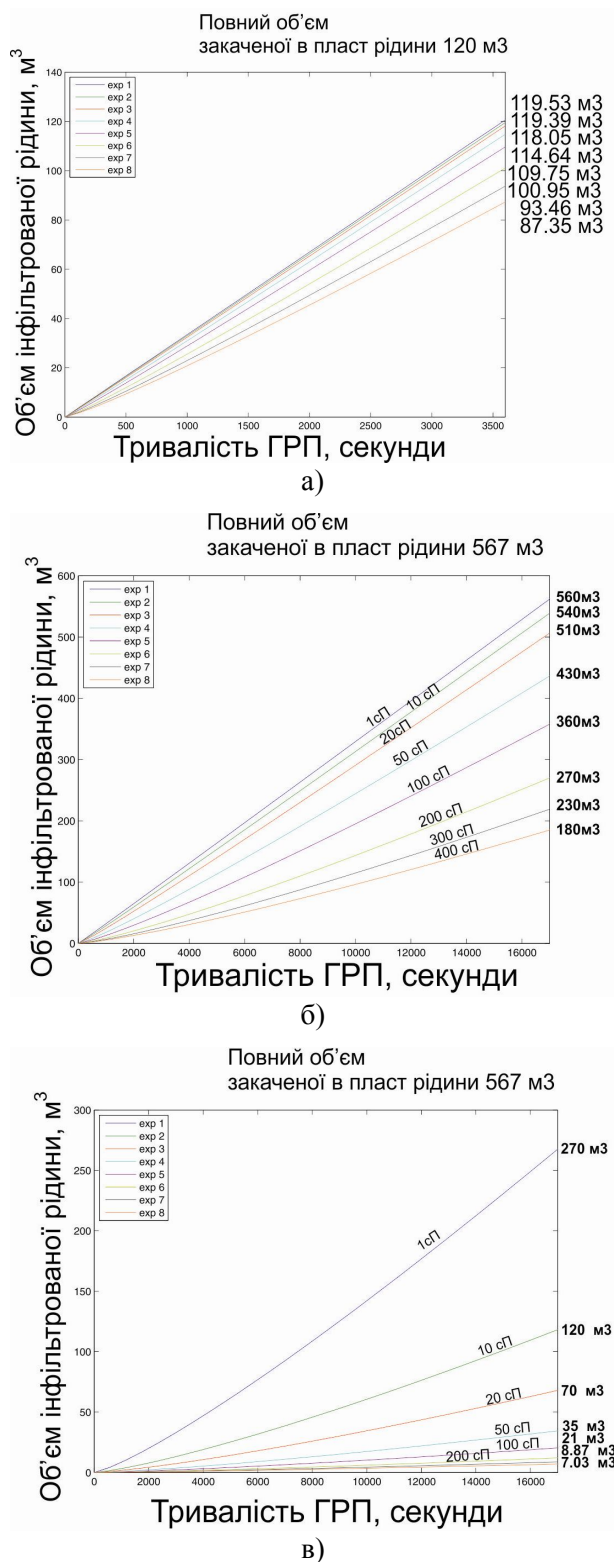


Рисунок 1 – Результати моделювання ГРП в традиційному покладі-пісковикі (а), в покладі щільних пісковиків (б) та сланцевому покладі (в). Криві 1-8 відповідають рідинам ГРП із в'язкістю від 1 до 400 мПа·с

Коефіцієнт інфільтрації контролюється не тільки в'язкістю рідини ГРП, а й наявністю інших компонентів у складі рідини ГРП. При підготовці рідкого агента для ГРП в традиційних колекторах з високими значеннями проникнос-

ті використовують додаткові компоненти для зменшення інфільтрації механічної чи хімічної дії. Для зменшення втрат рідини та підвищення ефективності ГРП слід приділити увагу її в'язкості та компонентному складу.

Згідно з результатами моделювання ГРП в щільному колекторі збільшення в'язкості рідини з 20 мПа·с до 50 мПа·с зменшує втрати рідини на 14,1 %. За умови виконання 10 операцій в горизонтальній ділянці свердловини, ця частка 14,1 % складе 800 м³. При високих значеннях проникності традиційних порід-колекторів або високих температур можливо, а інколи необхідно, використовувати спеціальні компоненти, що можуть зменшити втрати рідини на 5 – 15 %.

Підсумок результатів впливу в'язкості рідини ГРП на інфільтрацію рідини в пласт зображено на рисунку 2.

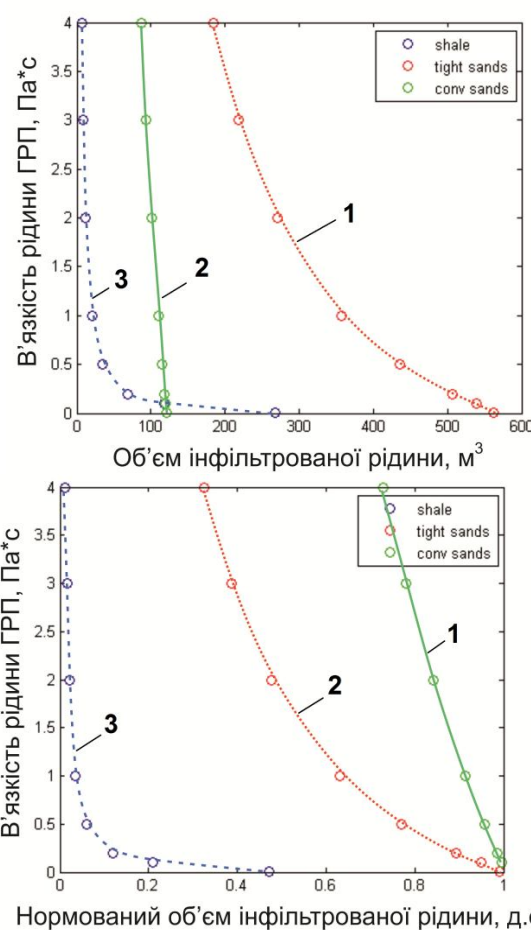


Рисунок 2 – Залежність об'єму інфільтрованої рідини в пласт при проведенні ГРП від в'язкості рідини ГРП для трьох типів покладів: звичайний (1) і щільний (2) пісковики та колектор сланцевого складу (3)

Скориставшись наведеними вище прикладами зменшення втрат рідини підраховано щорічні об'єми води, які можна скоротити для реалізації запланованої кількості ГРП в Харківській області з 2016 по 2040 роки відповідно до оптимістичного сценарію розвитку нафтогазової промисловості регіону. Результати підрахунку наведено на рисунку 3.

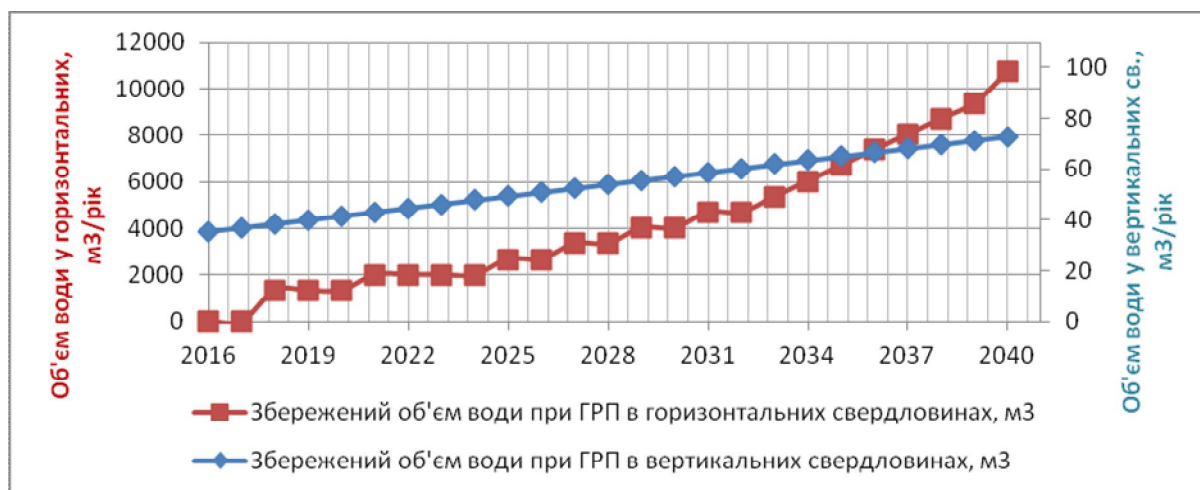


Рисунок 3 – Прогнозне скорочення водовикористання на потреби ГРП у вертикальних і горизонтальних свердловинах в Харківській області

Також успішність та ефективність ГРП значною мірою визначають реологічні властивості рідин гідророзриву, що описуються індексом неньютонівської поведінки, коефіцієнтом консистентності неньютонівської рідини та фільтраційні властивості рідин гідророзриву, які позначаються як коефіцієнти миттєвих та фільтраційних втрат [5].

Фільтраційні характеристики рідини гідророзриву поряд з реологічними значною мірою визначають можливість успішного проведення ГРП. Тому ефективність рідини розриву оцінюється за відношенням об'єму фільтраційних втрат рідини до всього об'єму рідини, запомпованої в пласт під час його проведення.

Знаючи які параметри впливають на фільтраційні втрати рідини гідророзриву, необхідно, в першу чергу, провести відповідний підбір рідини з низьким коефіцієнтом фільтраційних втрат. Це можуть бути високов'язкі зшиті гелі, лінійні гелі з наповнювачами та пінні системи.

Коефіцієнт кіркоутворення на стінці тріщини зменшується зі збільшенням концентрації полімеру через збільшення об'єму полімерних частинок, доступних для формування фільтраційної кірки, що блокує фільтрацію рідини гідророзриву в пласт. Тому застосування високов'язких рідин є одним із способів зменшення коефіцієнтів фільтраційних втрат. Застосування наповнювачів у високов'язких рідинах є мало-ефективним через те, що висока в'язкість запобігає переміщенню добавок у фільтраційну кірку.

При застосуванні лінійних гелів високу ефективність показали добавки для зменшення фільтраційних втрат (кремніземніста мука, суміші полімерів і силікатної муки, різного роду комбінації смол тощо). В такому випадку відбувається зменшення фільтраційних втрат рідини в матрицю породи, але необхідно детально аналізувати тип породи-колектора з метою запобігання подальшого блокування припливу вуглеводнів. Мається на увазі те, що під час ГРП у тріщинних слабопроникних колекторах відбувається розширення природних мікротрі-

щин за рахунок високого вибієного тиску, куди й можуть проникати наповнювачі та частина фільтраційної кірки, а сама експлуатація свердловини відбувається при низьких вибієних тисках (значній депресії), що, в свою чергу, може призвести до защемлення наповнювачів і технологічних продуктів розкладу. А це може призвести до зменшення продуктивності свердловини в цілому.

Отже, оптимальним варіантом зменшення фільтраційних втрат рідини є відповідний її підбір до умов проведення та без додаткових наповнювачів під час здійснення ГРП у поровотріщинних чи тріщинних колекторах.

Зазвичай після проведення ГРП закачана рідина може повертатися протягом кількох тижнів разом з пластовим флюїдом – нафтою чи газом. Підрахувати скільки води повернулося складно, адже перед проведенням ГРП свердловину промивають до вибою, частина цієї води фільтрується в пласт-колектор.

Окрім відповідного підбору рідин ГРП на збільшення кількості зворотно видобутої води також впливає спосіб освоєння та підбір рідин глушіння до та після самої операції.

Рідини глушіння повинні бути підібрані таким чином, щоб зменшити їх поглинання під час підготовчо-заключних робіт. Крім цього вони повинні бути інертними до рідини гідророзриву та продуктів її розкладу, що дозволить не блокувати зворотній приплив залишків рідини гідророзриву за рахунок утворення осадів, зв'язків, змочування тощо.

Не менш важливим фактором є саме освоєння, що повинно відбуватись з послідовним пониженням рівня і недопущення значного зменшення вибієного тиску при незначному відборі рідини зі свердловини. Різне створення депресії на пласт може привести до часткового блокування залишків рідини гідророзриву в окремих зонах через защемлення природних незакріплених тріщин.

Окрему роль відіграє тривалість проведення ГРП та період простою свердловини до початку її освоєння. Чим швидше свердловину

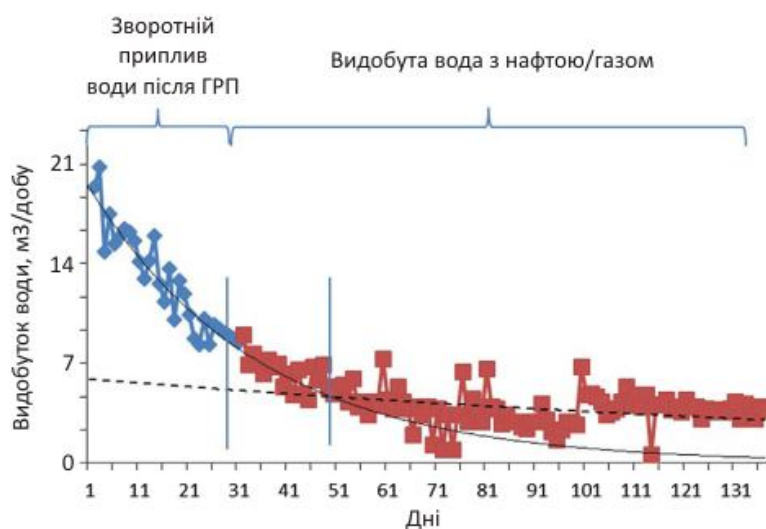


Рисунок 4 – Об'єм води, що повертається після проведення ГРП протягом 141 дня на прикладі свердловини 70 Ranch BB21-65HN

підготувати та запустити після ГРП, тим більший об'єм повернеться в перші години.

Згідно з реальними даними виконаних ГРП в Харківській області 74 % рідини ГРП поглинається породою-колектором, тобто ефективність рідини становить 26 %. Для прикладу на рисунку 4 наведено графік видобутку води після проведення ГРП у горизонтальній свердловині, що пробурена на родовищі щільних пісковиків Ваттенберг в штаті Колорадо, США [6].

Скорочення коефіцієнту інфільтрації можливе при зміні властивостей рідин ГРП, що визначаються їх компонентним складом, проте домінуючий вплив на величину коефіцієнту мають властивості породи-колектора. Згідно з результатами моделювання незначне збільшення в'язкості рідини призводить до значного зменшення втрат і, як результат – до скорочення водовикористання. Можливо збільшити об'єм рідини, що повертається в перші дні після ГРП, дотримуючись викладених вище рекомендацій.

Додатково необхідно розглянути застосування рідин гідророзриву, що готуються на мінералізованій чи пластовій воді або розробити їх. Це дозволить відбирати мінералізовану (пластову) воду з водоносних горизонтів додатково пробурених чи сусідніх свердловин та використовувати її для приготування рідини гідророзриву, що значно знизить громадське напруження навколо використання прісних вод для проведення ГРП. Крім цього, таку зворотно видобуту воду можна без підготовки закачувати у систему підтримання пластового тиску (ППТ) для її утилізації. Така вода може потребувати попередньої підготовки, тому для визначення її складу необхідно при бурінні свердловин у цьому регіоні здійснювати попутні випробування водоносних горизонтів з метою відбору води та визначення її хімічного складу, що значно спростить, в подальшому, її пошуки.

Згідно з українським законодавством дозволено підприємствам видобувати 300 м³ прісної води на добу для власних технічних потреб.

Вартість видобувної води для технічних потреб становить 0,33 грн/м³. Отже економічний ефект оптимізації водовикористання для потреб ГРП з точки зору вартості видобувної води в межах нафтогазоносних басейнів України на сьогоднішній день незначний. Питання утилізації технічних рідин викликає значно більшу зацікавленість, адже вартість утилізації набагато вища.

Оскільки хімічний склад рідини ГРП ретельно підбирається для кожної окремої операції, питання конструювання очисних споруд (механічного чи хімічного принципу) можливе лише при багаторазовому виконанні ГРП з практично однаковим компонентним складом рідини. Цей аргумент звужує практичність очистки води такими методами до його використання виключно при видобуванні "сланцевих" вуглеводнів, при розробці великих родовищ вуглеводнів зі щільними породами-колекторами або великих родовищ з в'язкою нафтою (чисельні ГРП та водонагнітальні свердловини).

Повторне використання рідини ГРП для проведення чергового ГРП неможливо, адже повернена на поверхню рідина втрачає свої первинні властивості та, як правило, набуває високої мінералізації, що виключає можливість її використання без нової підготовки (очистки).

Повторне використання рідини глушіння чи промивальної рідини є актуальним. За умов виконання ГРП на нафтовому родовищі, на якому проводиться заводнення або поблизу нього, залишкову рідину ГРП можна застосовувати для нагнітання в продуктивний горизонт для підтримання пластового тиску, що є одним із способів її утилізації при невеликих об'ємах ГРП.

Практика освоєння нафтогазоносних формацій з низькими колекторськими властивостями та родовищ з високов'язкою нафтою вказує на складності, пов'язані з використанням дуже великих об'ємів води. Механізми мінімізації водовикористання та оптимізації водовикористання окремих свердловин або операцій

ГРП недостатньо ефективні. В масштабах регіону активного освоєння та видобутку "неконвенційних" вуглеводнів необхідно злагоджене та чітко скоординоване управління використання водних ресурсів. Оскільки впровадження механізмів повторного використання води позитивно впливає на економічні показники та знижує вплив на навколишнє середовище основні водокористувачі приділяють цьому питанню максимум уваги та об'єднуються в консорціуми задля спільного подолання складнощів [7].

Одне з основних проблемних питань, з якими зіткнулись Північно-Американські видобувні та сервісні компанії, — це переміщення надзвичайно великих об'ємів води та технологічних рідин на великі відстані. Компанії, що володіють великими ділянками, чи групи компаній, що утворили консорціуми, створили інфраструктуру для транспортування води — трубопроводи та очисні споруди. Саме завдяки спільній діяльності учасників консорціуму водокористувачів в Україні можливо створити повноцінну масштабну інфраструктуру для повторного водовикористання. Спільна діяльність консорціуму повинна бути націлена на розробку довгострокових планів використання водних ресурсів та захисту джерел прісної води, що знаходяться під загрозою.

Об'єднання такого роду консорціуму — складне завдання. Проте, якщо всім ключовим сторонам будуть зрозумілі та обгрунтовані переваги їх участі, а державні регулюючі органи зі своєї сторони підтримуватимуть таку ініціативу — процес розвиватиметься не тільки завдяки ініціативі засновників, а й буде супроводжуватись появою нових учасників.

Окрім конструювання трубопроводів та очисних споруд і безпосередньої оптимізації водовикористання та її удосконалення діяльність консорціуму повинна бути націлена на залучення нових учасників, бути прикладом для інших регіонів нафтогазовидобування та активно підтримувати діалог з громадськістю:

- підтримання діалогу та взаємодії з місцевими і регіональними органами регулювання водних ресурсів та спільне планування управління водними ресурсами для майбутніх потреб;

- визначення та дотримання показників ефективності попередньо скоординованих планів і стимулювання зниження споживання прісної води спільно з учасниками консорціуму та незалежними водоспоживачами регіону;

- надання громадськості інформації про сумарні обсяги водних ресурсів в межах регіону, статистичні дані використання учасниками консорціуму та іншими водокористувачами, прогнози майбутніх потреб у воді в регіоні, результати діяльності та ефективності консорціуму і прогностичні показники водокористування та позитивні результати спільної діяльності.

Висновки

Успішне проведення ГРП потребує попереднього детального вивчення та розуміння властивостей порід-колекторів, дуже ретельного підбору компонентного складу рідини ГРП, власно якісного його проведення, промивки та освоєння свердловини. Розглянуті причини втрати рідини при проведенні ГРП, та визначені основні та другорядні фактори що впливають на водовикористання. Домінуюча частка об'єму води, що втрачається при ГРП, поглинається пластом — процес інфільтрації.

Скорочення коефіцієнту інфільтрації можливе при зміні властивостей рідин ГРП, проте домінуючий вплив на величину коефіцієнту мають властивості породи-колектора. Згідно результатів моделювання, незначне збільшення в'язкості рідини призводить до значного зменшення втрат, і як результат, — до скорочення водовикористання.

Результати комп'ютерного моделювання процесу ГРП дають можливість стверджувати, що є необхідність використання високов'язких рідин для виконання ГРП у традиційних покладах. В покладах щільних пісковиків немає необхідності використовувати рідини з в'язкістю більше 100 мПа·с, адже при більших значеннях в'язкості довжина тріщини збільшується несуттєво. При підготовці рідини для проведення ГРП в сланцевих пластах достатньо в'язкості 10 мПа·с, адже навіть низьков'язкі рідини запобігають інфільтрації рідини в пласт.

Оскільки хімічний склад рідини ГРП ретельно підбирається для кожної окремої операції, питання конструювання очисних споруд (механічного чи хімічного принципу) можливе лише при багаторазовому виконанні ГРП з практично однаковим компонентним складом рідини. Цей аргумент звужує практичність очистки води такими методами до його використання виключно при видобутку "сланцевих" вуглеводнів, при розробці великих родовищ вуглеводнів з щільними породами-колекторами, чи великих родовищ з в'язкою нафтою (численні ГРП та численні водонагнітальні свердловини).

При багаточисленних операціях ГРП в межах одного регіону вагомим скорочення водовикористання можна досягти тільки при спорудженні необхідної інфраструктури для економічно рентабельного транспортування рідин, конструювання очисних споруд та повторного залучення очищеної води в технологічні операції.

Дослідження було виконано в рамках проекту «Використання водних ресурсів Харківської та Донецької областей в контексті розвитку нафтогазової промисловості України.», що був реалізований компанією «Петроплай Рісерч і Консалтинг» за підтримки «Українського інституту природного газу нетрадиційних джерел», що заснований та реалізується компанією «Шелл» спільно з Британською Радою в Україні.

Література

- 1 Mishuris G. On modeling hydraulic fracture in proper variables: stiffness, accuracy, sensitivity / G. Mishuris, M. Wrobel, A. Linkov. — Int J Eng Sci 61:10. — 2012. — 23 p.
- 2 Carter R.D. Derivation of the General Equation for Estimating the Extent of the Fractured Area / R.D. Carter // Appendix to: "Optimum Fluid Characteristics for Fracture Extension" by G. C. Howard and C. R. Fast, Drill, and Prod. Prac., API. — 1957. — P. 261-270.
- 3 Nordgren R.P. Propagation of a vertical hydraulic fracture / R.P. Nordgren // Society of Petroleum Engineers Journal. — 1972. — №12. — P. 18.
- 4 Kusmierczuk, P. Remarks on application of different variables for the PKN model of hydrofracturing: various fluid-flow regimes / P. Kusmierczuk, G. Mishuris, M. Wrobel // International Journal of Fracture, 2:185. — 2013. — P. 213.
- 5 Інтенсифікація припливу вуглеводнів в свердловину / Ю.Д. Качмар, В.М. Світлицький, Б.Б. Синюк, Р.С. Яремійчук. — Львів: Центр Європи, 2005.
- 6 Bing Bai. Modeling of frac flowback and produced water volume from Wattenberg oil and gas field / Bing Bai, Stephen Goodwin, Ken Carlson // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2013. — P. 383-392.
- 7 Whitfield S. Unconventional Resources: New Facilities Find Solutions to Limited Water Sources / S. Whitfield // Water Treating Insights: SPE Oil and Gas Facilities Journal — December, 2014. — P.7.

Стаття надійшла до редакційної колегії

17.08.15

Рекомендована до друку

*професором **Тарком Я.Б.***

(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)

*канд. техн. наук **Цьомко В.В.***

(НДПІ ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ)